Environmental Hazards Management

University of Tehran Press

Home Page: https://jhsci.ut.ac.ir

Iranian Hazardology Association

Online ISSN: 2383-0530

A Study of Dangers of Sandstorms and the Displacement of Barkhans in Nosrat Abad- Fahraj link Route

Roghayeh Delaram[1] | Samad Fotoohi[2*] | Hossain Negaresh[3] | Syed Ali al-Modarsi[4]

1. Ph.D. Candidate in Geomorphology and Environmental Management, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: r.delaram10169@yahoo.com
2. Corresponding Author, Ph. D in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: samadfotohi@yahoo.com
3. Professor in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: H_negaresh@gep.usb.ac.ir
4. Professor, of Remote Sensing and GIS, Islamic Azad University, Yazd Branch, Iran. Email: almodaresi@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received 06 September 2023
Revised 02 November 2023
Accepted 03 November 2023
Published 08 November 2023

Keywords:
Barkhan,
Silk,
Sand Unevenness,
Lut,
Road Dangers,
Fahraj-Nosrat Abad.

ABSTRACT

As active landforms in desert regions, barkhans and other types of sand unevenness have always been affected by the prevailing climatic conditions. By moving to link routes, they cause noticeable dangers. Nosrat Abad-Fahraj link route is in provinces of Sistan & Baluchestan and Kerman. Due to the dry and desert climatic conditions, the main aim of the present study is to investigate the dangers of sandstorms and barkhans displacement in the mentioned route. First, employing Sentinel 2 satellite image (2016-2023) and remote sensing methods, some information about the geographical distribution and geomorphological diversity of the hills on a local scale was obtained. In this regards, four sandhills areas namely, Barkhans, Seif and Silk were analyzed in a certain link path and certain morphological changes. The results of the analysis of the images showing the amount of displacement in these four areas during an eight-year period are as follows: Barchan in region number 1 has displaced about 98 to 100 meters with the direction of south and southeast to north and northeast, in Silk sand unevenness in region 2, brankhes have displaced about 25 to 30 meters from southwest to northeast and annually, Seif hills in region 3 (north of the road) have displaced approximately 244 meters from west and southwest to the east and northeast and are developing towards the link route. In region 4, which is located in the southern part of Rig Yalan, the displacement amount, during the whole studied period, is about 210 meters. But due to the direction of the displacement towards north and northeast, it causes no harm to the route. For content confirmation, the region wind data at 10-meter-level and synoptic station were used.

Cite this article: Delaram, R.; Fotoohi, S.; Negaresh, H. & Almoderesi, S.A. (2023). A Study of Dangers of Sandstorms and the Displacement of Barkhans in Nosrat Abad- Fahraj link Route. *Environmental Hazards Management*, 10 (3), 183-198. DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.364639.793

© Roghayeh Delaram, Samad Fotoohi, Hossain Negaresh, Syed Ali al-Modarsi.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.364639.793

Introduction

Sandhills and barkhans are considered as the most active desert landforms which with significant displacement, cause major dangers in link routes and lives of the residents of these areas. By creating dust, sandstorms decrease visibility and bring various adverse consequences. A wide range of sand features seen in desert regions, have been classified by geomorphologists and each type of these features is dependent on the prevailing wind direction in the year and also the amount of sand (Maghsoudi et al., 1391, p.84). Since sand causes natural erosion and sedimentation hazards on the

structures in desert areas, so that road signs become obscure by encountering the fine dusts. Sands damage the car engine through entering the ventilator and they also make the windows and the color of the car opaque. The asphalt also would be damaged. Hence, investigating the sandstorms, barchan displacement and other types of sand unevenness and in general, all their dynamic features is of paramount importance. In the present study, due to the significance of this area which is the most momentous link routes of southeast to south, the center and even north. The passage of the south-eastern railway, the investigation of sandstorm dangers and the barkhans displacement were also prioritized in this research. For this purpose, satellite images on geographical distribution and morphology of hills were employed in the area. Also, the mechanism which led to creation and movement of the unevenness in the area, has been surveyed.

Methodology

In order to reveal the displacement of types of sand unevenness in Nosrat Abad- Fahraj link route, satellite images related to Sentinel 2 with 10-meter-resolution during 2016-2023 were used. Sentinel 2 on ground with a muti-band instrument has recorded ground changes in 13 spectral bands every 5 days and monitored the entire ground. For band combination SNAP software was utilized to monitor the changes and for data analysis GIS was used. To show the location of the target region, Landsat 8 satellite images were employed. Also, the statistics of the wind direction and speed of the synoptic stations located in the region were prepared from the meteorological organization of the country and the annual winds of the stations were drawn with WR Plot software. Then, 10-meter ground surface data from the ECMWF 0.125 was used to analyze the general atmospheric circulations. First, the data was collected separately for each month containing U and V data, and then the 40-year average was taken. The first calculations were conducted in GRADS software, wind speed and direction were in done in GIS. The stages of doing the research as a chart can be seen below.

Discussion and Results

Since wind in desert regions is the main cause of damage and displacement of different types of sand unevenness, when its speed reduces in one area, it leaves the sand grains and forms different kinds of sandhills based on the environmental conditions. To monitor the amount of displacement and changes of sand unevenness, Sentinel 2 images were used. First, after distinguishing the link route of Fahraj-Nosrat Abad, four regions of sand unevenness were identified over and down the road and some hills with remarkable changes were chosen and studies (figure 1). On the roadway of Fahraj-Nosrat Abad, sand unevenness was created in different forms. In these four regions of Barchan, Seif and Silk can be identified which it might be the origin of unevenness.

Conclusion

If conditions such as strong wind, land morphology and too much sand exist in desert areas, there are many possible dangers due to sand movement. Unfortunately, all these features are noticeable in Nosrat Abad-Fahraj. This road is vulnerable to serious damages. Analyzing the satellite images and field visit, it was revealed that there are active landforms such as Barchan, Silk, Seif and other types of sand unevenness. Studies show that the main factor of environmental hazards in this route is the existence of these landforms. In this region, because of the geomorphological conditions, the presence of continuous wind, excessive dryness of the region, sedimentation and lack of vegetation, creating road dangers such as reduced visibility, vehicle breakdowns, risk of accidents, asphalt damage, air pollution and health risks would be provided. All these have been confirmed dozens of times by travelers. Now that the areas prone to displacement and unevenness have been identified, the crucial measures must be taken to control and prevent the problems for travelers.

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت مخاطرات محیطی

سایت نشریه: https://jhsci.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۸-۲۴۲۳

بررسی مخاطرات توفان‌های ماسه‌ای و جابه‌جایی بارخان‌ها بر مسیر ارتباطی نصرت‌آباد–فهرج

رقیه دلارام[۱] | صمد فتوحی[۲*] | حسین نگارش[۳] | سیدعلی المدرسی[۴]

۱. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، دانشکدهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: r.delaram10169@yahoo.com

۲. نویسندهٔ مسئول، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، رایانامه: samadfotohi@yahoo.com

۳. استاد ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، رایانامه: h_negaresh@gep.usb.ac.ir

۴. استاد گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد، ایران، رایانامه: almodaresi@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
یادداشت پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۸/۲۳

کلیدواژه:
بارخان،
فهرج–نصرت‌آباد،
لوت،
مخاطرات جاده‌ای،
ناهمواری ماسه‌ای.

چکیده

بارخان و دیگر اشکال ناهمواری ماسه‌ای به‌عنوان لندفرم‌های فعال در مناطق بیابانی همواره تحت تأثیر شرایط اقلیمی حاکم قرار دارند و با جابه‌جایی، مخاطرات زیادی در مسیرهای ارتباطی ایجاد می‌کنند. مسیر ارتباطی نصرت‌آباد– فهرج در استان‌های سیستان و بلوچستان و کرمان قرار دارد. با توجه به شرایط اقلیمی خشک و بیابانی، هدف اصلی تحقیق، بررسی مخاطرات توفان‌های ماسه‌ای و جابه‌جایی بارخان‌ها در این مسیر بوده است. ابتدا از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ (۲۰۲۳–۲۰۱۶) و روش‌های سنجش از دور، اطلاعاتی در زمینهٔ پراکنش جغرافیایی و گوناگونی ژئومورفولوژیکی تپه‌ها در مقیاس محلی به‌دست آمد. بدین منظور چهار محدوده از تپه‌های ماسه‌ای (بارخان، سیف، سیلک) در مسیر ارتباطی مشخص و تغییرات مورفولوژیکی آنها بررسی شد. نتایج آنالیز تصاویر نشان‌دهندهٔ میزان جابه‌جایی در دورهٔ زمانی هشت‌ساله در این چهار محدوده به این صورت است: بارخان در محدودهٔ ۱، حدود ۹۸ تا ۱۰۰ متر و با جهت جنوب و جنوب غرب به شمال و شمال شرق، ناهمواری‌های ماسه‌ای سیلک در محدودهٔ ۲، سالانه شاخه‌ها حدود ۲۵ تا ۳۰ متر از جنوب غرب به شمال شرق، تپه‌های سیف در محدودهٔ ۳ (شمال جاده)، در حدود ۲۴۴ متر از غرب و جنوب غرب به سمت شرق و شمال شرق جابه‌جا شده است و به‌سمت مسیر ارتباطی در حال پیشروی است. در محدودهٔ ۴ که در قسمت جنوبی ریگ یلان قرار دارد، میزان جابه‌جایی در کل دوره حدود ۲۱۰ متر است، ولی با توجه به جهت جابه‌جایی که به‌سمت شمال و شمال شرق است، برای مسیر خطری ایجاد نمی‌کند. برای تأیید مطالب از داده‌های باد منطقه در سطح ده‌متری زمین و ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده شد.

استناد: دلارام، رقیه؛ فتوحی صمد؛ نگارش، حسین و المدرسی، علی (۱۴۰۲). بررسی مخاطرات توفان‌های ماسه‌ای و جابه‌جایی بارخان‌ها بر مسیر ارتباطی نصرت‌آباد– فهرج. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۰ (۳)، ۱۸۳–۱۹۸.

DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.364639.793

© رقیه دلارام، صمد فتوحی، حسین نگارش، سیدعلی المدرسی.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.364639.793

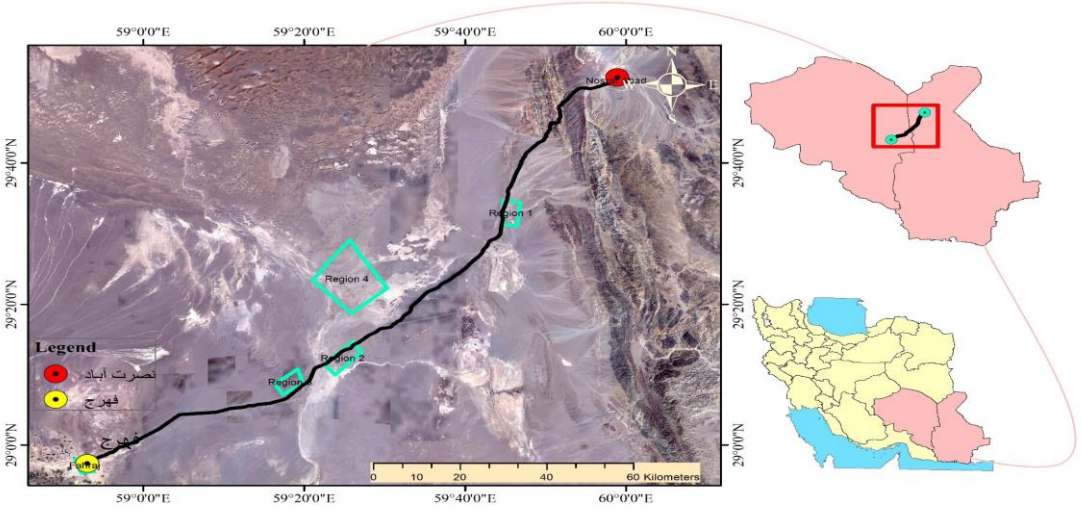
مقدمه

تپه‌های ماسه‌ای و بارخان‌ها فعال‌ترین لندفرم‌های بیابانی هستند و با جابه‌جایی زیاد، سبب ایجاد مخاطرات عمده در مسیرهای ارتباطی و زندگی ساکنان این نواحی می‌شوند. دامنهٔ گسترده‌ای از اشکال عوارض ماسه‌ای در نواحی بیابانی، توسط ژئومورفولوژیست‌ها طبقه‌بندی شده است و نوع این اشکال در هر منطقه به جهت باد غالب در سال و مقدار شن و ماسه بستگی دارد [۸]. توفان اصلی‌ترین شاخص اقلیمی در مناطق بیابانی است که اختلال در محیط‌های طبیعی و زیرساختی‌های انسانی به وجود می‌آورد [۲۱]. یکی از انواع رایج تپهٔ ماسه‌ای، در مناطقی با بادهای تک‌جهت در طول سال و ناتوانی ماسه در پوشاندن سراسر سطح منطقه، تپه‌های هلالی‌شکل به نام بارخان است [۲۳]. این عوارض که مهم‌ترین ویژگی آنها پویایی و تحرکات جانبی است، از ماسه متحرک تشکیل می‌شود و بخشی از آنها، کانون‌های بحران و تهدیدکننده مراکز مسکونی شهری و روستایی، مراکز اقتصادی و نظامی و شریان‌های ارتباطی است [۱۹،۱۲]. همواره پرسش‌هایی در زمینهٔ مخاطرات در ذهن افراد دانشمند، مطرح است و این کنجکاوی وی را وادار به شناخت پدیده‌های مخاطره‌آمیز کرده و آن را به‌تدریج به علم تبدیل می‌کند؛ اما در بسیاری از موارد، ناتوانیش در درک علمی پدیده‌های مخاطره‌آمیز سبب شده خرافه‌گویی در اندیشه عوام شکل گیرد [۲]. در زمینه اشکال ناهموار ماسه‌ای، اولین مطالعه سیستماتیک بر روی جابه‌جایی تپه‌ها توسط بگنولد در لندن انجام شد که هنوز برای داده‌های تجربی از آن روش استفاده می‌شود. در ادامه برای به‌دست آوردن بینش عمیق دربارهٔ موضوع مخاطرات جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای، چارچوب نظری و روش‌های پژوهش از مطالعات داخلی و خارجی زیادی به‌عنوان راهنمای انجام این پژوهش استفاده شد [۱۳،۹،۷،۴،۱–۲۶،۲۵،۲۱،۲۰،۱۷]. با توجه به مطالب بیان‌شده می‌توان گفت تپه‌ها و توفان‌های ماسه‌ای از عوامل طبیعی هستند که در مناطق خاصی از جهان یافت می‌شوند. این لندفرم‌ها به‌دلیل فرایندهای طبیعی مانند باد و آب، جابه‌جا می‌شوند و ممکن است مخاطرات زیادی برای بناها و تأسیسات ارتباطی داشته باشند. مسیر ارتباطی نصرت‌آباد– فهرج مهم‌ترین مسیر ارتباطی جنوب شرق به جنوب، مرکز و حتی شمال و نیز بزرگ‌ترین شاهراه برای رسیدن به بیابان لوت ایران – از گرم‌ترین نقاط جهان– است. این مسیر به‌دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و اقلیم حاکم، مجاورت با تپه‌های ماسه‌ای و وزش باد شبه‌دائمی تابستانهٔ سیستان سالانه مخاطرات زیادی را شاهد است. این پژوهش به‌منظور شناسایی و ارزیابی مخاطرات محتمل و حوادث ناشی از جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای انجام گرفت. شناخت دقیق تأثیر جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای بر مسیرهای ارتباطی و درک بهتر مخاطرات مرتبط برای افزایش ایمنی و کاهش مخاطرات در مسیرهای ارتباطی، افزایش دانش عمومی و آگاهی دربارهٔ جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای و آثار آن بر تأسیسات ارتباطی، نیازمند شناخت دقیق از میزان و جهت جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای است. علی‌رغم اهمیت زیاد این مسیر و پژوهش‌های زیادی که در بیابان لوت صورت گرفته است، کمتر پژوهشی را می‌توان یافت که به‌طور دقیق میزان و جهت جابه‌جایی‌های همهٔ تپه‌های ماسه‌ای اطراف مسیر را بررسی کرده باشد. از این‌رو در این پژوهش برای نخستین بار همهٔ لندفرم‌های ماسه‌ای موجود در منطقه شناسایی و مشخص شدند. سپس با استفاده از داده‌های مربوط و ابزارهای مورد نیاز، تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌ها و مشخصه‌های این تپه‌ها صورت گرفت. بعد از آن، اثر جابه‌جایی تپه‌ها بر مسیر ارتباطی بررسی شده و در نهایت با بازدید میدانی، مخاطرات ناشی از این جابه‌جایی شناسایی و ارزیابی شد. در انتها راهکارهای افزایش ایمنی در این مسیرها پیشنهاد شده است.

شکل ۱. تهدید جاده توسط ماسه‌های روان و عملیات خاک‌برداری با بولدوزر

منطقهٔ پژوهش

منطقهٔ پژوهش در محدودهٔ جنوب و جنوب شرقی بیابان لوت، بین ۵۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۲۰ دقیقهٔ طول شرقی و ۲۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۰ دقیقهٔ عرض شمالی واقع است. این محدوده از نظر تقسیمات سیاسی در استان‌های سیستان و بلوچستان و کرمان در جنوب شرق ایران قرار دارد و این مسیر با طول حدود ۲۰۳ کیلومتر، از راه‌های اصلی ارتباطی جنوب شرق با مرکز و جنوب ایران است (شکل ۲).



شکل ۲. منطقهٔ پژوهش

در این مسیر به‌دلیل ماهیت منطقه فاصلهٔ آبادی‌ها زیاد است. از لحاظ زمین‌شناسی این محدوده به‌طور کلی شامل رسوباتی مانند مارن، رس، سیلت، گنگلومرای رودخانه‌ای، گنگلومرای پلیماتیک، ماسه‌سنگ، مارن گچی، شیل، شن، مارن قرمز و... در سطوح مختلف است که مربوط به دوره‌های الیگوسن، میوسن و پلیوسن است. بیشترین مساحت مربوط به نهشته‌ها و رسوبات سطح پایین پدیمنت در دورهٔ کواترنری است. همچنین مارن قرمز، ماسه‌سنگ، مارن گچی و گنگلومرای (سازند قرمز بالای) در دورهٔ میوسن در سطح وسیعی دیده می‌شود. با توجه به بررسی در نقشه‌های ژئومورفولوژی بیشتر وسعت این محدوده را باهادا و دشت ریگی تشکیل داده که وابسته به رسوبات آبرفتی مخروط‌افکنه‌ها و آبرفت‌های رودخانه‌ای است. در قسمت‌های شمالی این محدوده بخش کوچکی از ریگ لوت و در شمال شرق منطقه ارتفاعات قرار دارد. اشکال ناهمواری ماسه‌ای در این مسیر به‌صورت بارخان، بارخان ناقص، سیلک و سیف دیده می‌شود که در این پژوهش بررسی شد.

روش‌شناسی

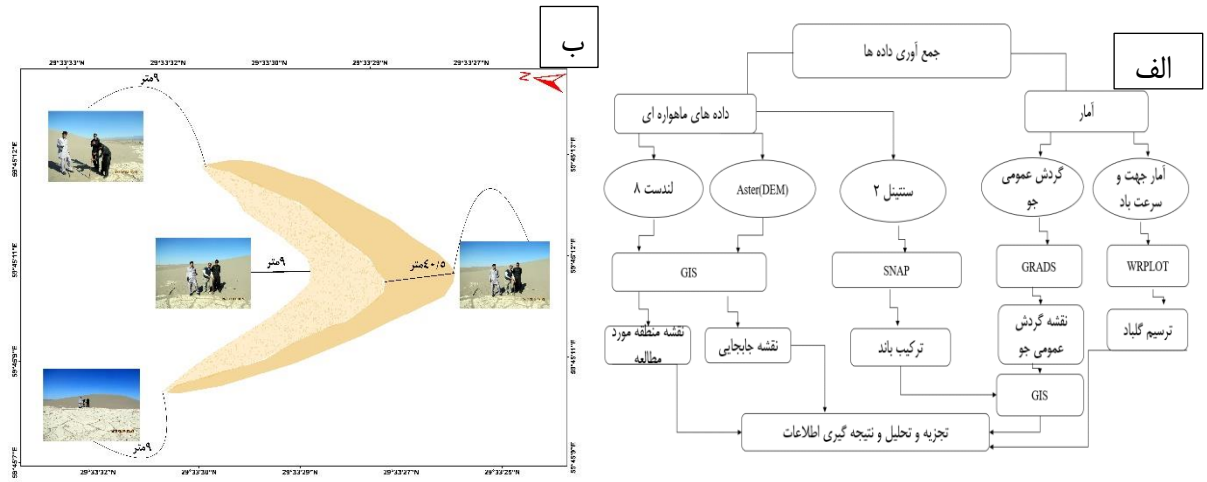
برای آشکارسازی میزان جابه‌جایی اشکال ناهمواری‌های ماسه‌ای در مسیر ارتباطی نصرت‌آباد- فهرج، از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ با رزولوشن ۱۰ متر، در دامنهٔ زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳ به‌مدت هشت سال استفاده شد. سنتینل ۲ بر روی زمین با ابزار چندباندی، هر پنج روز تغییرات زمین را در سیزده باند طیفی ثبت و سراسر زمین را پایش می‌کند. برای ترکیب باندی از نرم‌افزار اسنپ، برای رصد تغییرات و تحلیل آن از نرم‌افزار GIS و برای نشان دادن موقعیت منطقه از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ استفاده شد. در ابتدا برای بررسی میزان پیشروی و جهت تغییرات تپه‌های ماسه‌ای، محل قرارگیری انواع این لندفرم‌ها در اطراف مسیر ارتباطی شناسایی و در نهایت چهار محدوده در بالا و پایین جاده انتخاب شد که در هر کدام از این محدوده‌ها نوعی از عوارض ماسه‌ای شکل گرفته بود. در مرحلهٔ بعد تصاویر سنتینل ۲ مربوط به این محدوده در دامنهٔ زمانی ۲۰۲۳-۲۰۱۶ از سایت کوپرنیک[1] و usgs.gov اخذ شد (جدول ۱).

1. copernicus

جدول ۱. مشخصات داده‌های استفاده‌شده

ردیف	تاریخ اخذ تصاویر	نام و عنوان تصاویر	سطح تصویر	قدرت تفکیک
۱	۲۰۱۶/۰۴/۱۲	S2A_MSIL1C_20160412T064122_ 2T064359	RGT	۱۰ متر
۲	۲۰۱۷/۰۴/۱۱	S2A_MSIL1C_20170411T064011_ T064458	RGT	۱۰ متر
۳	۲۰۱۹/۰۴/۱۱	S2A_MSIL1C_20190411T063631_ T084435	RGT	۱۰ متر
۴	۲۰۲۰/۰۴/۰۵	S2A_MSIL1C_20200405T063621_ T084435	RGT	۱۰ متر
۵	۲۰۲۱/۰۴/۰۵	S2B_MSIL1C_20210405T063629_ T083610	RGT	۱۰ متر
۶	۲۰۲۲/۰۶/۱۴	S2A_MSIL1C_20220614T063641_ T083451	RGT	۱۰ متر
۷	۲۰۲۳/۰۴/۳۰	S2A_MSIL1C_20230430T063621_ T082749	RGT	۱۰ متر
۸	۲۰۱۳/۱۱/۰۹	LC08_L2SP_158040_20131109_20200912_02_T1		۱۵ متر

پردازش‌های اولیه در نرم‌افزار اسنپ و پردازش‌های نهایی در نرم‌افزار GIS انجام گرفت. در هر منطقه برخی از تپه‌ها در اندازه‌های مختلف انتخاب و در سال‌های مختلف ترسیم شد تا میزان جابه‌جایی به‌صورت واضح نشان داده شود. در نهایت برای صحت‌سنجی پردازش‌های صورت‌گرفته یک نمونه بارخان از محدودهٔ ۱ انتخاب شد. در اطراف این بارخان در سال ۲۰۱۳ میخکوبی انجام گرفته بود. در این نمونه در چهار جهت با فواصل مشخص میخکوبی شد. به‌طوری که میخ اول با رأس بارخان حدود ۴۰ متر فاصله داشت و میخ دوم با بازوی شرقی بارخان، میخ سوم تا دل بارخان و میخ چهارم با بازوی غربی بارخان هر کدام ۹ متر فاصله داشتند. این بارخان در روی تصاویر لندست سال ۲۰۱۳ ترسیم و میزان و جهت جابه‌جایی در سال‌های مختلف پایش شد که تأییدی بر نتایج کلی این پژوهش محسوب می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳. الف) مشخصات بارخان نشانه‌گذاری‌شده در محدودهٔ ۱؛ ب) فلوچارت مراحل اجرای پژوهش.

در مرحلهٔ بعد مهم‌ترین عامل بررسی‌شده، بادهای منطقه، خصوصیات و مشخصات آنهاست. برای مشخص کردن جهت بادهای فرسایش‌دهنده و شکل‌دهندهٔ تپه‌های ماسه‌ای و میزان فعالیت آنها، آمار سمت و سرعت باد ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در منطقه از سازمان هواشناسی کشور تهیه و گلباد سالیانهٔ این ایستگاه‌ها با نرم‌افزار WR Plot ترسیم شد. در ادامه برای بررسی گردش‌های عمومی جو از داده‌های ۱۰ متری سطح زمین از سایت ECMWF، ۰/۱۲۵ استفاده شد. ابتدا داده‌ها به‌تفکیک برای هر ماه که حاوی داده‌های ماهانهٔ U و V بود فراخوانی و سپس متوسط چهل‌ساله گرفته شد. برای تبدیل یو و وی به سرعت باد از ریشهٔ مجذور مجموع آنها استفاده می‌شود که از رابطهٔ ۱ به‌دست می‌آید:

$$ws = sqrt\left(u^2 + v^2\right) \quad (۱)$$

برای جهت باد از ارکتانژانت وی نسبت به یو حاصل می‌آید که بعد از محاسبه به درجه تبدیل می‌شود (رابطهٔ ۲). محاسبات اولیه در نرم‌افزار GRADS انجام گرفت، سرعت و جهت باد در اکسل محاسبه شد و در نهایت ترسیم در نرم‌افزار GIS برای نشان دادن سرعت و جهت باد در دو مرحله انجام گرفت. در زیر مراحل پژوهش به‌صورت چارت نمایش داده شده است (شکل ۴).

$$atan2(y,x)=\begin{cases} arctan\dfrac{y}{x} & x>0 \\ arctan\dfrac{y}{x}+\pi & y\geq 0,\ x<0 \\ +\dfrac{\pi}{2} & y>0,\ x=0 \\ -\dfrac{\pi}{2} & y<0,\ x=0 \\ undefined & y=0,\ x<0 \end{cases} \qquad (۲)$$

داده‌ها و بحث

در مناطق بیابانی، باد عامل اصلی تخریب و جابه‌جایی اشکال ناهمواری ماسه‌ای است. وقتی سرعت باد کاهش می‌یابد، دانه‌های ماسه‌ای را به‌جا می‌گذارد و براساس شرایط محیطی شکل‌های مختلفی از تپه‌های ماسه‌ای را تشکیل می‌دهد. برای پایش میزان جابه‌جایی و تغییرات اشکال ناهمواری ماسه‌ای در این تحقیق از تصاویر سنتینل ۲ استفاده شد. ابتدا بعد از مشخص کردن مسیر ارتباطی فهرج- نصرت‌آباد، چهار محدوده از اشکال ناهمواری ماسه‌ای در بالا و پایین جاده مشخص و چند تپه که تغییرات محسوسی داشت، انتخاب و بررسی شد (شکل ۲). در مسیر جادهٔ فهرج- نصرت‌آباد، ناهمواری‌های ماسه‌ای به اشکال مختلف تشکیل شده‌اند. در این چهار محدوده بارخان، سیف و سیلک قابل تشخیص‌اند که خود ممکن است منشأ تشکیل ناهمواری‌های جدید باشند.

جابه‌جایی بارخان (مسیر ارتباطی فهرج- نصرت‌آباد، محدودهٔ ۱)

در محدودهٔ ۱ ناهمواری‌های ماسه‌ای بارخان در قسمت جنوب شرقی بیابان لوت و مسیر ارتباطی مشاهده می‌شود (شکل ۴). این ناهمواری‌ها در نتیجهٔ فرسایش بادی و تجمع ماسه‌ها تشکیل شده‌اند. شکل بارخان باد غالب در محدوده را نشان می‌دهد. بارخان در مناطقی ایجاد می‌شود که باد در یک جهت باشد. تحرک و جابه‌جایی بارخان‌های کوچک در این قسمت نسبت به بارخان‌های بزرگ بیشتر است. در این محدوده به‌طور میانگین میزان جابه‌جایی ۱۲ متر در سال است که این رقم در بارخان‌های کوچک تا ۱۵ متر در سال هم می‌رسد. جهت جابه‌جایی جنوب به شمال و شمال شرق است که هم‌جهت با وزش باد غالب است. بارخان‌ها با شکل هلالی دارای نیمرخ قرینه هستند که جهت باد غالب هر محدوده را نشان می‌دهند. در این محدوده در بعضی از بارخان‌ها رشد در یک بازو دیده می‌شود که دلیل آن، تغییرات رژیم باد یا وجود بادهای فرعی در محدوده است. به‌طور کلی در این محدوده، مجموعهٔ بارخان متقارن، نامتقارن، عرضی و طولی مشاهده می‌شود که در دامنهٔ زمانی تحت بررسی، به‌طور معمول شکل ظاهری خود را تا حدودی حفظ کرده و جابه‌جایی صورت گرفته است. کل جابه‌جایی در دورهٔ زمانی هشت‌ساله به‌طور میانگین ۹۸ تا ۱۰۰ متر محاسبه شد که این میزان تغییر در هر کدام از بارخان‌ها کمی متفاوت است (شکل ۴).

جابه‌جایی ناهمواری ماسه‌ای سیلک (مسیر ارتباطی نصرت‌آباد- فهرج، محدودهٔ ۲)

در قسمت جنوبی مسیر ارتباطی نصرت‌آباد- فهرج، اشکال ناهمواری به‌صورت سیلک با خطوط موج‌دار از سیف به وجود آمده که به‌صورت نیم‌دایره و سیلک کمانی دیده می‌شود و در بیابان لوت مهم‌ترین ناهمواری ماسه‌ای بعد از بارخان به حساب می‌آید. سیلک‌ها همواره به‌صورت منفرد دیده نمی‌شوند و با تجمع آنها دسته‌های سیلک تشکیل می‌شود که با دو بخش ساقه و خوشهٔ سیلک از یکدیگر تفکیک می‌شوند. این عوارض اطلاعات دقیقی را در زمینهٔ ویژگی‌های باد به‌خصوص

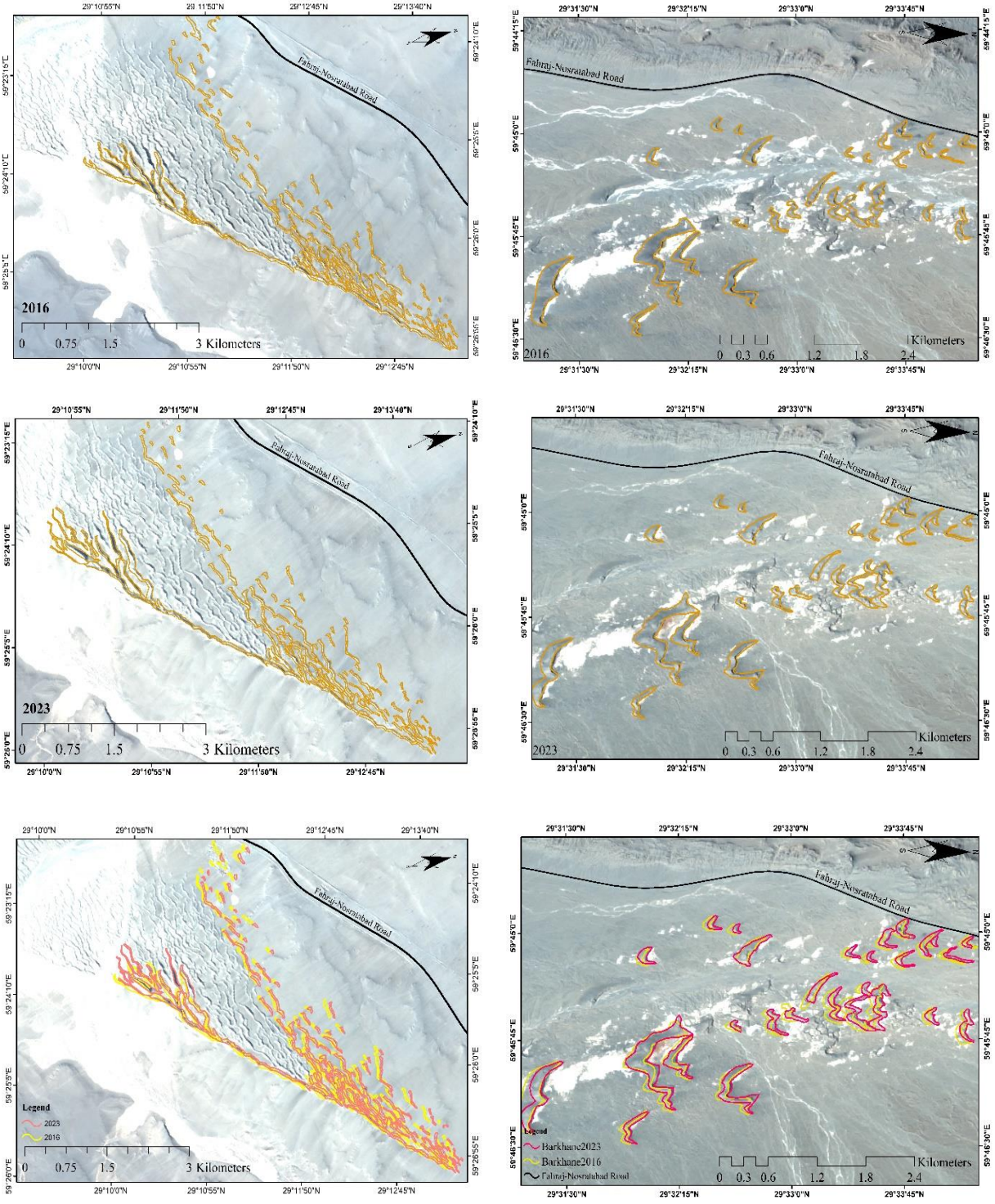
جهت باد و بادهای فرعی غالب در منطقه ارائه می‌دهد. خوشهٔ سیلک شاخه‌های متعدد دارد و مساحت آن بیشتر از ساقهٔ سیلک است. شکل ۵ یک سیلک مرکب در مسیر ارتباطی نصرت‌آباد- فهرج را نشان می‌دهد. براساس این تصویر، باد اصلی غالب بر منطقه با جهت جنوب غربی- شمال شرقی فعالیت دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود دامنهٔ رو به باد منظم و دامنهٔ خلاف جهت باد نامنظم است. اندازهٔ شاخه‌ها در سیلک متفاوت و متغیر است؛ به این صورت که شاخهٔ با طول ۴۰ متر و یک شاخه با طول بیش از ۲۵۰۰ متر هم دیده می‌شود. میزان جابه‌جایی شاخه‌ها با طول آنها رابطهٔ عکس دارد، به‌طوری که هرچه طول شاخه کمتر باشد جابه‌جایی آن بیشتر است. در این محدوده در دامنهٔ زمانی هشت سال (۲۰۲۳-۲۰۱۶) تصاویر تجزیه‌وتحلیل شد. میزان جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای سیلک چشمگیر است. سالانه شاخه‌های سیلک به‌طور میانگین حدود ۲۵ تا ۳۰ متر در جنوب غربی به شمال شرقی جابه‌جا شده‌اند. بیشترین جابه‌جایی در دامنهٔ زمانی پژوهش حدود ۱۷۸ متر محاسبه شد که از نظر مخاطرات جاده‌ای شایان توجه است.

جابه‌جایی تپه‌های سیف (مسیر ارتباطی فهرج- نصرت‌آباد، محدودهٔ ۳)

سیف مهم‌ترین واحد شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای در بیابان لوت است، از این‌رو در این محدوده بسیاری از تپه‌های ماسه‌ای به‌صورت سیف تشکیل شده‌اند. به‌طور کلی سیف‌ها به‌سرعت شکل می‌گیرند و امکان دارد در اثر توفان یا باد شدید به وجود آیند. بگنولد و کوک (۱۹۷۳-۱۹۵۴) دو باد با زاویهٔ بسته و قدرت متفاوت را در شکل‌گیری و فاصلهٔ تپه‌ها سیف مؤثر دانسته‌اند. شکل ۶ تپه‌های سیف در شمال جادهٔ نصرت‌آباد- فهرج را نشان می‌دهد. طول سیف در این محدوده از حدود ۱۰۰ متر تا حدود ۷۰۰ متر متغیر است. بگنولد (۱۹۴۱) بیان کرد که در تپه‌های سیف با توجه به تغییرات دوره‌ای باد دامنهٔ پرشیب از یک طرف سیف به طرف دیگر جابه‌جا می‌شود و چینه‌بندی جریان دانه توزیع بی‌مدال دارد. میزان جابه‌جایی تپه‌های سیف در این محدوده با توجه به مساحت و طول آنها متفاوت است. به‌طور میانگین سالانه حدود ۲۸ متر تپهٔ سیف در این منطقه جابه‌جا می‌شود که در کل بیشترین جابه‌جایی حدود ۲۴۴ متر و کمترین ۷۰ متر در دورهٔ زمانی پژوهش است.

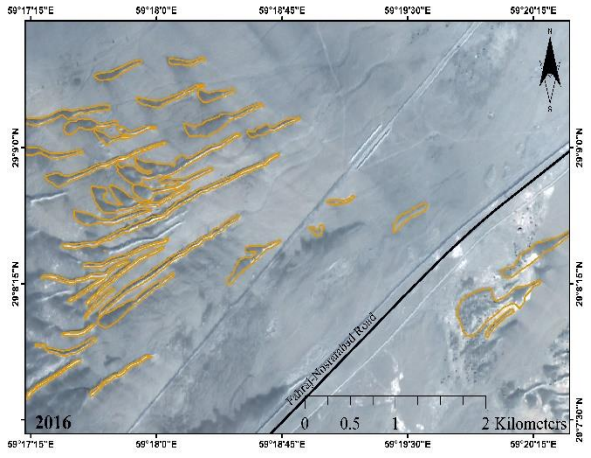
جابه‌جایی تپه‌های بارخانی ناقص (مسیر ارتباطی فهرج- نصرت‌آباد، محدودهٔ ۴)

در محدودهٔ ۴ بارخان‌ها به‌صورت ناقص با نیمرخ نامتقارن مشاهده می‌شوند و ویژگی‌های اصلی بارخان را ندارند. در این منطقه به‌دلیل مشخص نبودن باد غالب این اشکال به‌صورت نامتقارن به وجود آمده‌اند؛ شاید هم بعد از تشکیل بارخان تغییراتی به وجود آمده و آنها را به‌صورت ناقص درآورده باشد (شکل ۷). این منطقه در قسمت جنوبی ریگ یلان قرار دارد و فاصلهٔ آن تا مسیر ارتباطی حدود ۱۰ کیلومتر است. با توجه به آنالیز تصاویر در دامنهٔ زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۳، میزان جابه‌جایی سالانه حدود ۲۲ متر و میزان جابه‌جایی در کل دورهٔ بررسی‌شده حدود ۲۱۰ متر است. در نهایت برای صحت‌سنجی نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز تصاویر یک نمونه از بارخان محدودهٔ ۱ که در سال ۲۰۱۳ در یک بازدید میدانی با میخکوبی نشانه‌گذاری شده بود، در تصاویر جدید پایش شد (شکل ۸) و مشخص شد که این بارخان در طی دورهٔ ده‌ساله (۲۰۲۳-۲۰۱۳) جابه‌جایی زیادی داشته است؛ به‌طوری که بازوی شرقی بارخان حدود ۱۲۰ متر، بازوی غربی آن ۱۳۵ متر، رأس بارخان ۱۲۳ متر و دل بارخان ۱۲۱ متر جابه‌جا شده است که این میزان نسبت به میخ نشانه‌گذاری در بازوی شرقی ۱۱۱ متر، در بازوی غربی ۱۲۶، در رأس بارخان ۱۲۳ متر و در دل بارخان ۱۱۲ متر جابه‌جایی دارد که یافته‌های این پژوهش را تأیید می‌کند.

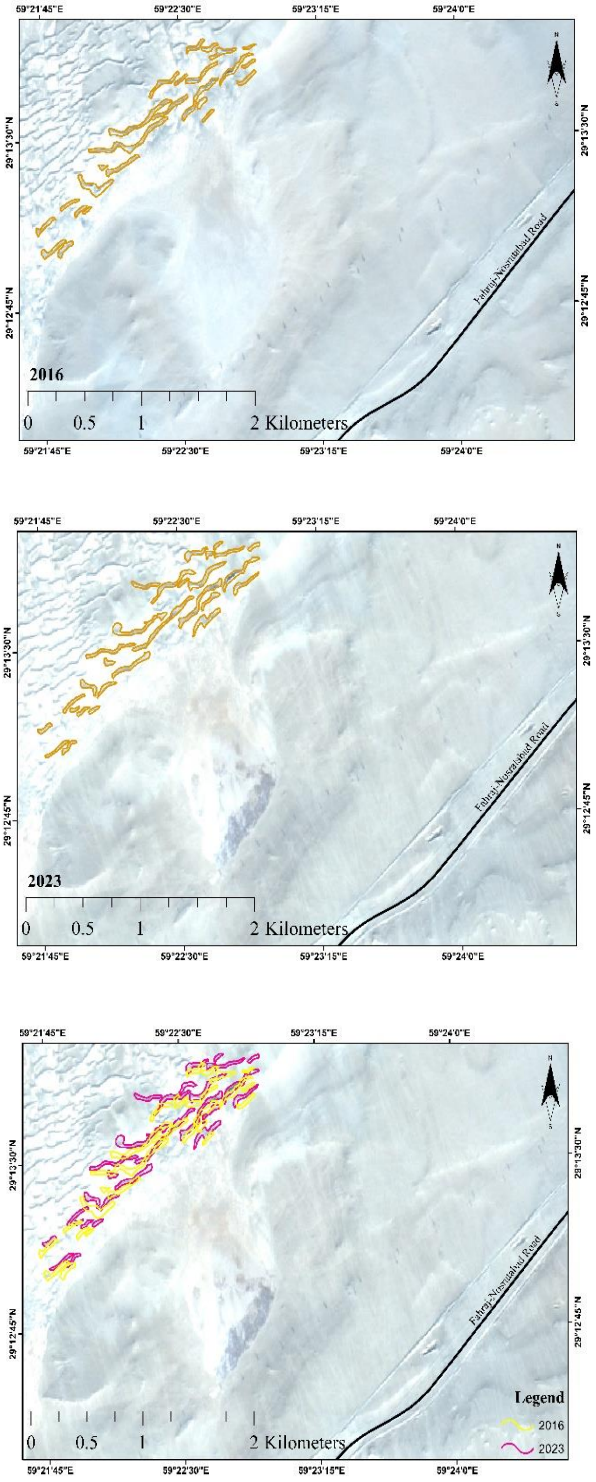


شکل ٤. مجموعه بارخان در جنوب شرقی بیابان لوت (۲۰۲۳-۲۰۱۶)

شکل ٥. سیلک مرکب بیابان لوت (۲۰۲۳-۲۰۱۶)



شکل ٦. مجموعهٔ تپه‌های سیف شمال جاده فهرج- نصرت‌آباد (۲۰۲۳-۲۰۱۶)

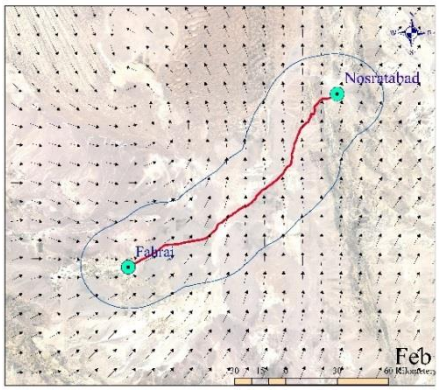


شکل ۷. تپه‌های بارخانی ناقص جنوب لوت (۲۰۲۳-۲۰۱۶)

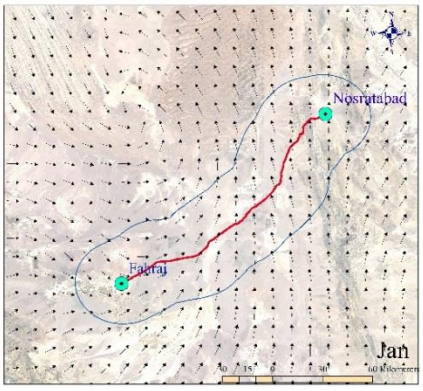
شکل ۸. جابه‌جایی بارخان نشان‌گذاری‌شده در مسیر جادهٔ نصرت‌آباد– فهرج

تغییرات سرعت و جهت باد منطقه در ارتفاع ده‌متری از سطح زمین

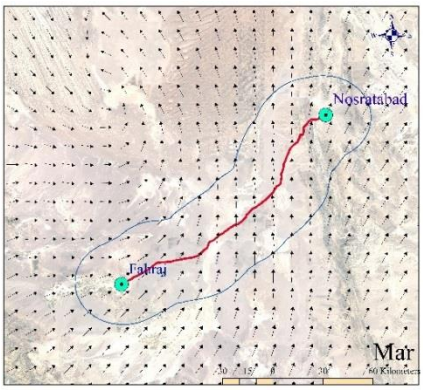
شکل‌های ۹ تا ۲۰ مربوط به جهت و سرعت باد به‌ترتیب از ماه‌های ژانویه تا دسامبر است که براساس داده‌های باد مداری (U) و باد نصف‌النهاری (V) به‌دست آمده است. با توجه به این شکل‌ها الگوی بارزی مشاهده می‌شود. البته برای این الگوها به‌صورت فصلی می‌توان تا حدی تفاوتی قائل شد، به‌طوری که در طول ماه‌های ژانویه تا اواخر آوریل دارای ساختار یکسانی است. بدین گونه که در تمام این ماه‌ها، یک مرکز همگرایی در محدودهٔ شمال غرب محدودهٔ پژوهش (واقع در محدودهٔ مرکزی لوت میانی) مشهود است که قاعدتاً این مرکز همگرایی متأثر از یک مرکز کم‌فشار است. در ماه ژانویه این سامانه مرکز همگرایی درست در محدودهٔ میانی لوت میانی و شمال غرب منطقهٔ پژوهش قرار دارد. با گذر از ژانویه به‌سمت دیگر ماه‌ها (فوریه، مارس و آوریل)، مرکز مذکور از میانهٔ لوت میانی و هامادای میانی به‌سمت جنوب شرق منتقل می‌شود، به‌طوری که در ماه می این مرکز تقریباً در جنوب شرقی لوت میانی و مرکز منطقه قرار می‌گیرد و پس از آن تا ابتدای اکتبر شاهد هیچ‌گونه مرکز همگرایی در محدودهٔ پژوهش نخواهیم بود. در توجیه این موضوع می‌توان به وزش باد شبه‌دائمی تابستانهٔ سیستان اشاره کرد (تعیین زمان آغاز، خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان با بهره‌گیری از روش‌های تخمین نقطهٔ تغیر، حمیدیان‌پور)، براساس پژوهش مذکور این باد تقریباً از اوایل می شروع می‌شود و تا اواخر آگوست یا اوایل سپتامبر ادامه دارد. با توجه به الگوهای گردش جو تابستانهٔ فلات ایران، شاهد یک کم‌فشار حرارتی در منطقهٔ پاکستان و سامانهٔ فرعی آن کم‌فشار سیستان در دشت سیستان و یک سامانهٔ پرفشار دیگر روی ترکمنستان به نام پرفشار ترکمنستان هستیم. با توجه به این دو سامانه و بادها در طول این دوره (می، ژوئن، جولای، آگوست، سپتامبر) به‌شکل شمالی و جنوبی است. پس از عقب‌نشینی و از بین رفتن سامانه‌های مذکور در طول دورهٔ تابستان شرایط موجود در محدوده، یعنی وجود بادهای شمالی (شکل‌های ۱۳ تا ۱۷) از بین می‌رود و همان شرایط ذکرشده در ماه‌های ژانویه تا اواخر آوریل، برای ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر تکرار می‌شود (شکل‌های ۱۸ تا ۲۰). به بیان دیگر محدودهٔ پژوهش در قسمت غربی در ماه سپتامبر و اکتبر تا اواخر آوریل دارای یک الگوی خاص است. به‌طوری که پیشتر ذکر شد یک مرکز همگرایی در لوت میانی دیده می‌شود و باد با جهت چرخش سیکلون به حرکت درمی‌آید. به‌طور دقیق‌تر روند باد در ماه‌های ذکرشدهٔ غربی یا جنوب غربی، جنوب به شمال و شمال شرق است که براساس این نحوهٔ پیدایش و جابه‌جایی بسیاری از اشکال ناهمواری‌های ماسه‌ای و مخاطرات محیطی این مسیر توجیه می‌شود. در ماه‌های باقی‌مانده، با توجه به تقویت گردش تابستانهٔ فلات ایران، الگوی حرکت بادها به‌شکل یکسان از شمال به جنوب یا شمال غربی به جنوب شرقی است.



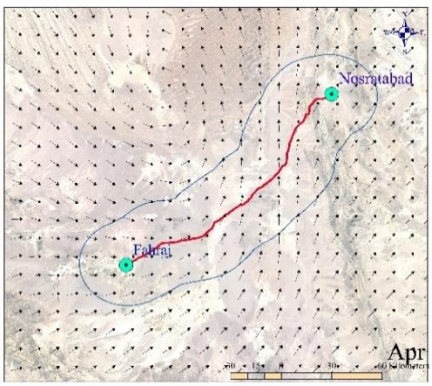
شکل ۱۰. سرعت و جهت باد ماه فوریه



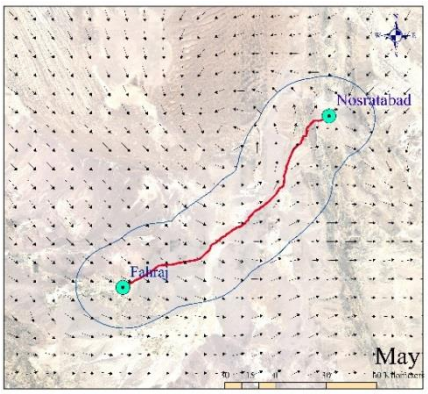
شکل ۹. سرعت و جهت باد ماه ژانویه



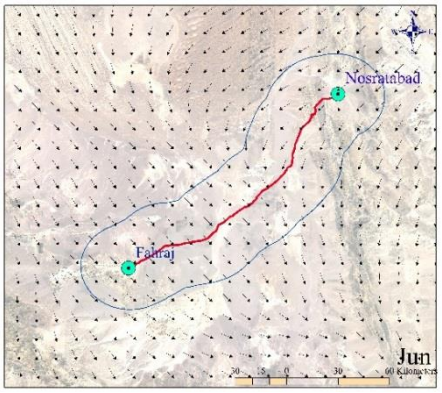
شکل ۱۲. سرعت و جهت باد ماه مارس



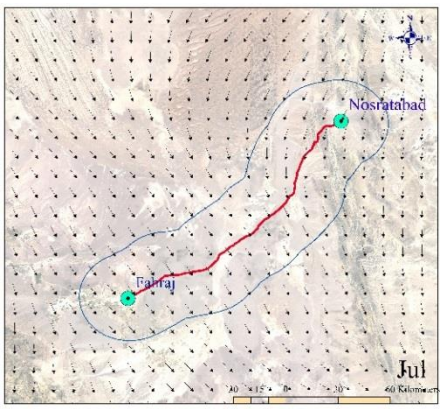
شکل ۱۱. سرعت و جهت باد ماه آوریل



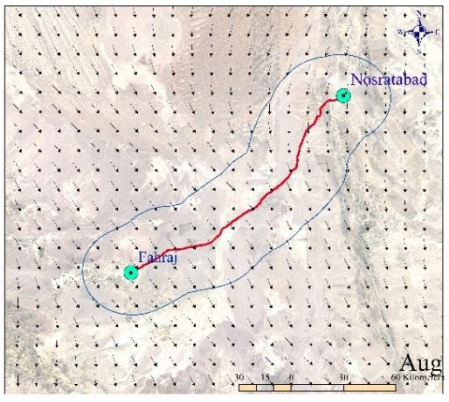
شکل ۱٤. سرعت و جهت باد ماه می



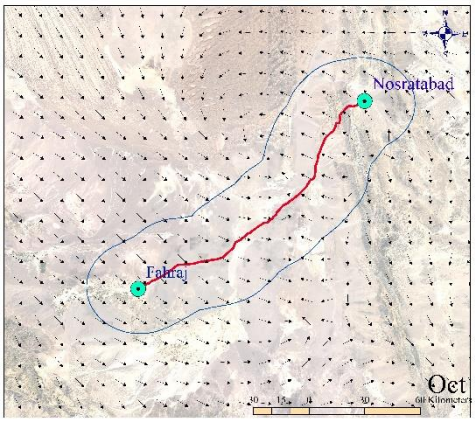
شکل ۱۳. سرعت و جهت باد ماه ژوئن



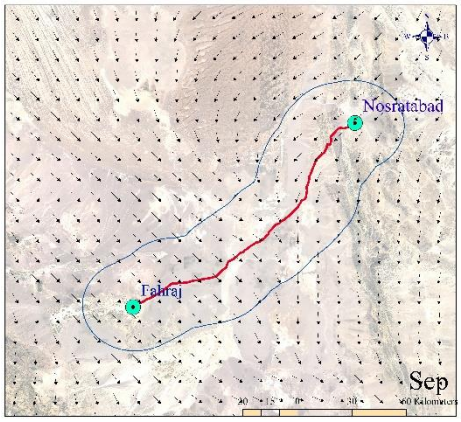
شکل ۱٦. سرعت و جهت باد ماه جولای



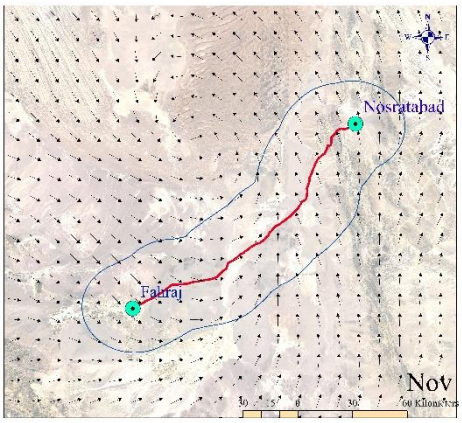
شکل ۱۵. سرعت و جهت باد ماه آگوست



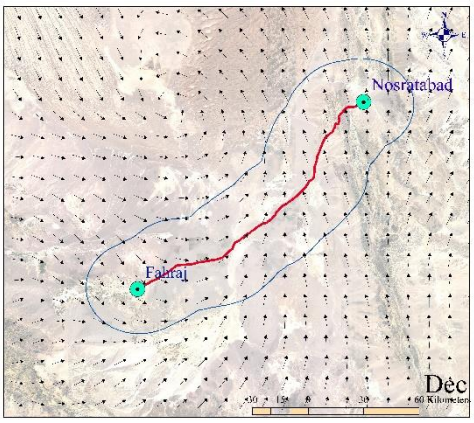
شکل ۱۸. سرعت و جهت باد ماه اکتبر



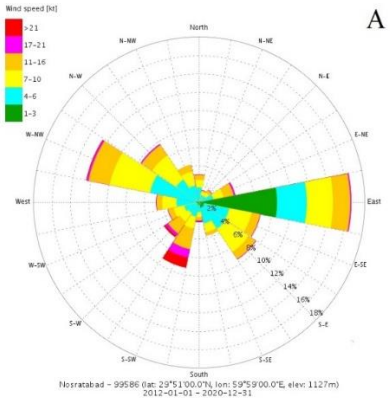
شکل ۱۷. سرعت و جهت باد ماه سپتامبر



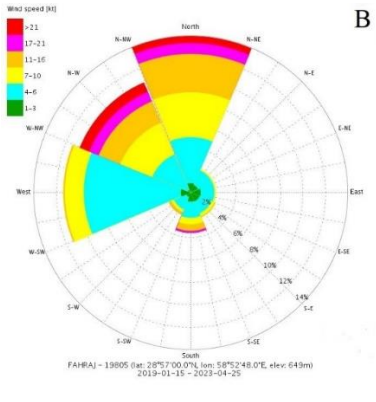
شکل ۲۰. سرعت و جهت باد ماه نوامبر



شکل ۱۹. سرعت و جهت باد ماه دسامبر



شکل ۲۱. گلباد نصرت‌آباد



شکل ۲۲. گلباد فهرج

بررسی داده‌های سمت و سرعت باد ایستگاه‌های سینوپتیک فهرج و نصرت‌آباد در جنوب غربی و شمال شرقی منطقه در قالب گلباد، روند معناداری را در جابه‌جایی اشکال ناهمواری ماسه‌ای و تغییرات ژئومورفولوژیکی نشان می‌دهد. در گلباد نصرت‌آباد ۹۱ درصد بادها دارای سمت و سرعت است و باد اصلی از سمت شرق می‌وزد؛ اما باد با سرعت زیاد (۲۱ نات) که بیشترین اثر را در جابه‌جایی‌ها دارد از جنوب غرب به شمال شرق می‌وزد که اشکال ناهمواری ماسه‌ای هم این روند را نشان می‌دهند (شکل ۲۲). بنابراین گلبادها نیز روند جابه‌جایی ناهمواری‌های ماسه‌ای در چهار محدودهٔ بررسی‌شده را تأیید می‌کند. به‌طور کلی با اجرای این پژوهش و استفاده از داده‌های ترکیبی سنجش از دوری، آماری و بازدید میدانی، تحلیل دقیق‌تر و پیش‌بینی بهتری از تأثیر باد بر جابه‌جایی تپه‌ها ماسه‌ای و آثار آن بر مسیر ارتباطی حاصل شد. به این صورت که با آگاهی دقیق از میزان و جهت جابه‌جایی

تپه‌ها می‌توان راهبرد دقیقی را در برخورد با این موضوع تعریف کرد. راهبرد در مخاطره‌شناسی سبب شفافیت در اقدامات و به رسمیت شناخته شدن سرمایه‌گذاری‌های جدید برای توسعه و اطمینان از بیهوده نبودن و مخاطره‌آمیز نبودن آنها می‌شود [۱۱]. این نتایج ابهامات در زمینهٔ میزان، حجم و جهت جابه‌جایی را برطرف و امکان برنامه‌ریزی طولانی‌مدت را فراهم می‌کند.

نتیجه‌گیری

اگر در مناطق بیابانی، شرایطی مانند باد قوی، مورفولوژی زمین و ماسه فراوان وجود داشته باشد، خطرهای احتمالی ناشی از حرکت شن و ماسه زیاد است. متأسفانه همهٔ این شرایط در امتداد جاده نصرت‌آباد– فهرج نمایان است و این مسیر به‌راحتی در معرض آسیب‌های جدی قرار گرفته است. با تجزیه‌وتحلیل تصاویر ماهواره‌ای و بازدید میدانی، مشخص شد که در این محدوده لندفرم‌های فعالی مانند بارخان، سیلک، سیف و دیگر اشکال ناهمواری ماسه‌ای به‌صورت شایان توجهی وجود دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که عامل اصلی مخاطرات محیطی در این مسیر وجود همین لندفرم‌هاست. با بررسی چهار محدوده می‌توان گفت که به‌طور کلی محدوده‌های ۱، ۲ و ۳ خطرهای طبیعی جدی به‌ویژه در طول توفان‌های باد برای مسیر ایجاد کرده است. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر جابه‌جایی ماسه‌ها در این محدوده وجود بادهای شدید و مداوم است. بررسی‌ها نشان داد که این محدوده همواره در معرض باد قرار دارد و الگوی باد مداومت آن را نشان می‌دهد و دست‌کم در هفت ماه از سال روند باد با جابه‌جایی تپه‌ها یکسان است؛ بنابراین با توجه به موارد ذکرشده، در این محدوده به‌دلیل شرایط ژئومورفولوژیکی، وجود بادهای مداوم، خشکی بیش از حد منطقه، ویژگی رسوبات و نبود پوشش گیاهی، بستر مناسبی برای ایجاد مخاطرات جاده‌ای مانند کاهش دید، خرابی وسایل نقلیه، خطر برق‌گیری وسایل نقلیه، مسدود شدن مسیر ارتباطی، خطر تصادف، آسیب به آسفالت، آلودگی هوا و خطر سلامتی را فراهم کرده که بارها توسط مسافرانی که از این مسیر عبور می‌کنند، تأیید شده است. اکنون که نواحی مستعد جابه‌جایی اشکال ناهمواری ماسه‌ای شناسایی شد باید اقدامات لازم انجام گیرد.

منابع

[۱]. پاریزی، اسماعیل؛ یمانی، مجتبی؛ مهرنیا، سیدرضا؛ مقصودی، مهران؛ و موسوی، سید موسی (۱۳۹۷). تأثیر ویژگی‌های‌هیدروژئولوژی بر میزان جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای مطالعهٔ موردی: چالهٔ درآنجیر، *فصلنامهٔ کواترنری ایران* ۴(۲)، ۱۵۱-۱۶۳.

[۲]. جهانی، مجید؛ حسینی بهشتی، سید محمدرضا؛ طالب‌زاده، سید حمید؛ و قوام‌صفری، مهدی (۱۳۹۴). تحلیل اسطوره‌ای مخاطرات. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۲(۲)، ۱۹۱-۲۰۶.

[۳]. حیدری‌نسب، مهدی؛ کرم، امیر؛ نگارش، حسین؛ و پهلوانروی، احمد (۱۳۹۷). تحلیل مخاطرات ناشی از جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای در دشت سیستان. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۹(۳۴)، ۵۹-۷۵.

[۴]. رامشت، محمدحسین؛ سیف، عبدالله؛ و محمودی، شبنم (۱۳۹۱). بررسی میزان گسترش تپه‌های ماسه‌ای شرق جاسک در بازهٔ زمانی (۱۳۸۳-۱۳۶۹) با استفاده از GIS و RS. *جغرافیا و توسعه*، ۳۱، ۱۲۱-۱۳۶.

[۵]. صیدائی، سیداسکندر؛ نظری، حمید؛ جمینی، داود؛ و قنبری، یوسف (۱۴۰۲). تأثیر مخاطرات محیطی بر سرمایهٔ تصویری مقاصد گردشگری (مطالعهٔ موردی: بخش میانکوه شهرستان اردل). *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۰(۲)، ۱۲۱-۱۳۵ DOI: http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.361711.785

[۶]. محمودی، فرج‌الله (۱۳۸۸)، ژئومورفولوژی دینامیک، چاپ ۹، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.

[۷]. مفیدی، عباس؛ حمیدیان‌پور، محسن؛ سلیقه، محمد؛ و علیجانی، بهلول (۱۳۹۲). تعیین زمان آغاز, خاتمه و طول مدت وزش باد سیستان با بهره‌گیری از روش‌های تخمین نقطهٔ تغییر. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۲(۸)، ۸۷-۱۱۲.

[۸]. مقصودی، مهران؛ نگهبان، سعید؛ و باقری، سجاد (۱۳۹۱)، تحلیل مخاطرات ناشی از ماسه‌های روان بر سکونتگاه‌های غرب دشت لوت (مطالعهٔ موردی: روستای حجت‌آباد -شرق شهداد). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱، ۸۳-۹۶.

[۹]. مقصودی، مهران؛ گراوند، فاطمه؛ عبدی‌نژاد، بایرامعلی؛ و پیرانی، پریسا (۱۳۹۹). پایش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه بادسنجی نمونهٔ پژوهش: محدودهٔ ریگ زهک در شرق دشت سیستان. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۱(۳)، ۱۳۱-۱۴۸ Doi: 10.22108/gep.2020.123597.1317

[۱۰]. مقصودی، مهران؛ محبوبی، صدیقه؛ بهاروند، مهدی؛ خانبابایی، زهرا؛ و محمدی، ابوطالب (۱۳۹۶). تحلیل آماری قطر رسوبات برخانهای غرب بیابان لوت و بررسی نوع و منشأ آنها. *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۳(۲۶)، ۱۰۱-۱۲۵.

[۱۱]. مقیمی، ابراهیم (۱۴۰۱)، استراتژی علم مخاطره‌شناسی: آیا علم مخاطره‌شناسی استرتژی دارد؟. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۹(۱) ۵۴-۴۵ DOI: 10.22059/jhsci.2022.345598.730

[۱۲]. موسوی، سید حجت؛ ولی، عباسعلی؛ و معیری، مسعود (۱۳۸۹). تأثیر مؤلفه‌های مورفومتری برخان بر میزان جابه‌جایی آن (مطالعهٔ موردی: ریگ چاه جام). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۱(۲)، ۱۰۱-۱۱۸.

[13]. Abu Seif, E. S., & El-Khashab, M. H. (2018). Desertification Risk Assessment of Sand Dunes in Middle Egypt: A Geotechnical Environmental Study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, https://doi.org/10.1007/s13369-018-3343-7

[14]. Al-Harthi, A. A. (2002). Geohazard assessment of sand dunes between Jeddah and Al-Lith, western Saudi Arabia. *Environmental Geology*, 42, 360-369

[15]. Amin, A., & Abu Seif, E. (2019), Environmental Hazards of Sand Dunes, South Jeddah, Saudi Arabia: An Assessment and Mitigation Geotechnical Study, Earth Systems and Environment 3:173–188, https://doi.org/10.1007/s41748-019-00100-5

[16]. Bhattachan, A., Okin, G. S., Zhang, J., Vimal, S., & Lettenmaier, D. P. (2019). Characterizing the Role of Wind and Dust in Traffic Accidents in California. *GeoHealth*,3, https://doi.org/10.1029/2019GH000212Received

[17]. Bourke, M.C., Ewing, R.C., Finnegan, D.C., & Mcgowan, H.A. (2009). Sand dune movement in the Victoria Valley, Antarctica, Geomorphology, doi:10.1016/j. *geomorph*.2009.02.028

[18]. Daniell, J., & Hughes, M. (2007). The morphology of barchan-shaped sand banks from western Torres Strait, northern Australia. *Journal of Sedimentary Geology*, No. 202, pp. 638-652

[19]. Dong, P. (2004). An Assessment of Groyne Performance in the United Kingdom. *Coastal Management*, 32(2), 203–213. doi:10.1080/08920750490276281

[20]. Hamdan, M.A., Refaat, A.A., & Abdel Wahed, M., (2016). Morphologic characteristics and migration rate assessment of barchans dunes in the Southeastern Western Desert of Egypt. *Geomorphology*, 257, 57-74. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.12.026

[21]. Li, C., Wang, Y., Lei, J., Xu, X., Wang, S., & Li, S. (2020). Damage by wind-blown sand and its control measures along the Taklimakan Desert Highway in China. *Journal of Arid Land*, https://doi.org/10.1007/s40333-020-0071-0

[22]. Opp, C., Groll, M., Abbasi, H., & Ahmadi Foroushani, M. (2021). Causes and Effects of Sand and Dust Storms: What Has Past Research Taught Us? A Survey. *Journal of Risk and Financial Management*, 14: 326. https://doi.org/10.3390/jrfm14070326

[23]. R.A. Bagnold (1941). *The physics of blown sand and desert dunes*, London, Methuen

[24]. Sauermann, G., Rognon, P., Poliakov, A., & Herrmann, H. J. (2000), The shape of the barchan's dunes of Southern Morocco. *Geomorph*. 36, 47–62

[25]. Sparavigna, A.C. (2013). A study of moving sand dunes by means of satellite images. *International Journal of Sciences*, 2. DOI:10.18483/ijSci.229

[26]. Xie, S., Qu, J., Zhang, K., Han, Q., & Pang, Y. (2021). The mechanism of sand damage at the Fushaliang section of the Liuyuanâ- Golmud expressway. *Aeolian Research*, 48, 100648– https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100648